Rev. Écol. Biol. Sol, 1983, **20** (2) : 143-153.

Contribution à l'étude du sous-système pédologique des écosystèmes forestiers montagnards du massif de Moncayo (Chaîne Ibérique)

II. — Caractéristiques générales de l'humus dans le transect étudié

PAR

G. ALMENDROS, J.J. IBAÑEZ et A. POLO

Instituto de Edafologia y Biologia Vegetal (C.S.I.C.) c/Serrano 115 dpdo. Madrid (España)

INTRODUCTION

L'étude des caractéristiques pédologiques dans les transects montagnards permet de reconnaître l'influence progressive d'une série de facteurs écologiques dont les fluctuations qualitative et quantitative se situent dans des extensions de terrain relativement réduites.

Du point de vue de la pédogenèse et en particulier de l'évolution de l'humus, la composition et les propriétés de la matière organique du sol sont largement conditionnées par les effets de la zonation altitudinale du climat, par les strates de végétation et par la nature du substrat géologique.

Par ailleurs, le dynamisme extérieur du géosystème et les effets du gradient énergétique de gravitation de pente qui se manifestent par le drainage de matériaux, déterminent aussi une migration des bases vers les parties basses du transect et influent beaucoup sur l'évolution des écosystèmes dégradés ou en voie de dégradation où la perte de structure du sol favorise les processus érosifs.

Enfin, l'action anthropozoogène (reboisement à l'aide de différentes espèces arborescentes, exploitation forestière et élevage dans les différents secteurs des transects montagnards) détermine une évolution pédologique divergente selon les conditions phytoécologiques.

Reçu le 1-10-82. — Accepté le 29-12-82.

REVUE D'ÉCOLOGIE ET DE BIOLOGIE DU SOL - 0035-1822/1983/143/$ 5.00/© Gauthier-Villars

En quelques années, la composition de l'humus accuse une série de modifications qui sont le reflet de l'altération de l'équilibre de l'écosystème, conséquence de l'effet direct ou indirect des conditions du milieu, pouvant aller jusqu'à produire une réorganisation dans la structure chimique des différentes sortes de composés humiques, dont l'étude peut fournir des renseignements sur l'intensité de ces variations du milieu.

Dans la zone étudiée (IBAÑEZ *et al.*, 1982), on remarque la prédominance de sols peu développés, dégradés, et à caractère de rankers de pente ou d'érosion formés presque toujours sur des sédiments de pente.

Le transect choisi pour l'étude de la matière organique des sols traverse différents milieux forestiers qui correspondent de bas en haut à la forêt sclérophylle, à la forêt marcescente, à la forêt de reboisement à feuilles aciculaires et à la forêt à feuilles caduques caractéristique des zones centro-européennes montagnardes de l'Atlantique.

I. — MATÉRIEL ET MÉTHODES

MATÉRIEL. — Les échantillons étudiés correspondent aux vingt premiers centimètres de cinq sols ramassés le long d'un transect, sur le Versant Nord du Massif de Moncayo (Chaîne Ibérique), dans la commune de Vozmediano (province de Soria, Espagne). La zone choisie est comprise entre la base de cette commune (terrasses supérieures de la rivière Queiles) et la strate à feuilles caduques, ce qui correspond à une ascension de 1200 mètres environ, en direction du pic de Moncayo (2313 mètres) qui constitue la cote la plus élevée de la Chaîne.

Au tableau I, sont données quelques-unes des caractéristiques analytiques et écologiques des échantillons ainsi que leur dénomination.

MÉTHODES. — Les déterminations du pH, du % C et du % N ont été réalisées d'après les recommandations de la Commission de Méthodes Analytiques de l'Institut National José María ALBAREDA (1973).

L'analyse granulométrique des sols a été faite conformément aux critères de BOYOUCOS (1962) et l'étude du complexe d'échange conformément à MEHLICH (1948).

L'extraction des substances humiques a été effectuée avec le pyrophosphate et l'hydroxyde de sodium après séparation densimétrique de la matière organique libre au moyen d'un mélange bromoforme-alcool de densité 1.8 (MONNIER *et al.*, 1962).

L'humine héritée, a été déterminée à partir du résidu du sol soumis à l'action des ultra-sons (CHOULIARAS *et al.*, 1975 ; DUCHAUFOUR et SOUCHIER, 1977).

Les acides humiques ont été séparés des acides fulviques par précipitation avec HCl à pH1 et évalués indépendamment dans un analyseur de carbone Beckman 915-B. Le résidu d'extraction, après avoir été déminéralisé au moyen de traitements répétés avec $Na_2S_2O_4$ et avec un mélange HF-HCl (MERLET, 1971), a été extrait à nouveau à l'aide de NaOH 0,1 M pour l'obtention de la fraction dite humine d'insolubilisation extractible, qui se trouvait intimement associée à la fraction minérale.

Pour le fractionnement des acides humiques, on a utilisé les gels Sephadex G-50 en employant de l'eau distillée bouillie comme effluent et en déterminant les courbes de densités optiques à 450 nm (DORADO *et al.*, 1972). On a utilisé aussi les gels Sephadex G-25 et NaOH 0,1 N comme effluent (KUMADA and SATO, 1980).

Les spectres visibles des acides humiques ont été obtenus à partir de solutions d'extraction NaOH 0,1 M avec un spectrographe PYE-Unicam SP 700 A (KONONOVA, 1966).

II. — RÉSULTATS ET DISCUSSION

Les analyses du carbone organique et de l'azote sont particulièrement significatives (Tab. I). La teneur en matière organique du sol augmente progressivement dans les sols avec l'altitude en raison de la difficulté croissante de la minéralisation des débris organiques d'origine végétale.

TAB. I

Caractéristiques physico-chimiques des sols

Segment	Sorte de formation	Type d'humus	Morphologie (Épaisseur en cm)			pH	%C	%N	C/N	% argile
			A_{00}	A_0	A_1					
E......	Forêt sclérophylle	Mull forestier	1-2	—	> 20	6.2	2.67	0.18	14.8	13.6
Mt.....	Forêt marcescente thermophile	Moder forestier	3	—	> 20	5.1	6.30	0.27	23.3	11.6
P......	Forêt à feuilles aciculaires	Moder forestier	5	3	> 20	5.5	3.58	0.14	25.6	12.4
Mm.....	Forêt marcescente mésophile	Mull-moder forestier	5	9	> 20	5.7	4.96	0.23	21.6	15.7
H......	Forêt à feuilles caduques	Moder forestier	30	> 40*		4.7	16.92	0.62	27.3	16.3

* Entre roches.

La valeur relativement basse du taux de matière organique dans la pinède de reboisement est influencée pour une grande part par les opérations de terrassement qui mélangent les horizons superficiels et favorisent la minéralisation comme nous le verrons plus loin.

L'augmentation progressive du rapport C/N avec l'altitude, est à relier aux conditions critiques de formation des humus dans les parties les plus élevées soumises à des conditions climatiques rigoureuses et en présence d'horizons minéraux érodés et appauvris. Les valeurs de la capacité d'échange (Tab. II) mettent en évidence un entraînement des bases vers les zones d'altitude plus basse.

La désaturation des sols tout au long du transect est nettement marquée (V = 100 % dans la chênaie → 43 % dans l'hêtraie), le Ca^{2+} étant le cation le plus important du complexe adsorbant. Les résultats du fractionnement de la matière organique mettent en évidence des détails nouveaux sur les caractéristiques des sols.

La strate sclérophylle des parties basses constituée par une végétation arborescente à caractère améliorant, développée sur un substrat approprié

pour une formation d'humus favorable (pH élevé, complexe absorbant saturé, teneurs en argile relativement élevées), présente le type d'humus le plus évolué avec une proportion relativement faible de débris végétaux en voie d'humification (Tab. III).

L'ensemble des fractions les moins transformées (matière organique libre et humine héritée) représente à peu près la moitié du carbone total du sol, mais il faut aussi souligner la grande proportion de composés humiques extractibles, la prédominance évidente des acides fulviques sur les acides humiques et la proportion relativement élevée d'humine d'insolubilisation extractible.

TAB. II

Complexe absorbant (meq/100 g)

Segment	T	S	V (%)	Na^+	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
E.	17.75	16.59	93	0.03	1.08	14.50	0.98
Mt.	19.75	15.67	79	0.04	0.98	12.75	1.90
P.	15.50	9.99	64	0.04	0.22	8.50	1.23
Mm.	16.00	7.00	44	0.04	0.68	5.00	1.28
H.	16.00	2.25	14	0.04	0.30	1.50	0.41

TAB. III

Distribution du carbone organique dans les fractions humiques

Segment	Matière organique libre	Humine héritée	Extraite humique	Acides humiques (AH)	Acides fulviques (AF)	Humine d'insolubilisation extractible	Humine non extractible
E.	1.09* (40.82)**	0.25 (9.36)	0.67 (25.09)	0.23 (8.61)	0.44 (16.48)	0.27 (10.10)	0.39 (14.63)
Mt.	3.83 (60.79)	1.12 (17.78)	0.79 (12.54)	0.20 (3.17)	0.59 (9.37)	0.12 (1.90)	0.44 (6.99)
P.	1.75 (48.88)	0.44 (12.29)	0.53 (14.80)	0.46 (12.85)	0.07 (1.95)	0.06 (1.67)	0.80 (22.36)
Mm.	1.82 (36.69)	0.63 (12.70)	1.03 (20.77)	0.34 (6.85)	0.69 (13.92)	0.31 (6.25)	1.17 (23.59)
H.	14.89 (88.00)	1.40 (8.27)	0.37 (2.18)	0.06 (0.35)	0.31 (1.83)	0.14 (0.82)	0.12 (0.73)

* % en C.
** En % du carbone total.

Dans la forêt marcescente thermophile (Mt), l'humus est beaucoup moins évolué ; il y a une nette prédominance de la matière organique libre sur la matière organique liée et une faible teneur en composants extractibles (12,5 % du carbone total). Les acides fulviques sont dominants dans la fraction extractible et les humines de néoformation présentent des valeurs plus faibles.

La forte pente de la zone et l'action de l'homme avec une exploitation forestière sous régime de taillis, pourraient influencer d'une certaine manière une rapide évolution de l'humus au niveau de la forêt sclérophylle, bien que la classe de végétation, et particulièrement l'invasion de buisson acidificant dans certaines zones, semble être le principal responsable de l'accumulation de débris végétaux peu transformés.

Dans le cas de la pinède de reboisement, on observe la présence d'un type d'humus un peu plus évolué que dans le cas précédent mais différent de ce que l'on pourrait espérer d'une végétation franchement acidifiante, implantée comme substitution d'une forêt de cupulifères.

La teneur en fractions organiques peu transformées baisse d'une façon remarquable et les acides humiques prédominent sur les acides fulviques. Cette amélioration des propriétés du sol est très certainement liée au terrassement pratiqué avant le reboisement qui adoucit la pente et mélange les fractions organiques et minérales des horizons superficiels.

Avec le temps on peut penser qu'avec la disparition des effets du terrassement et avec le développement de la forêt de *Pinus nigra*, les caractéristiques de l'humus vont évoluer vers celles de la forêt à feuilles aciculaires de reboisement, avec apport important au sol de débris végétaux peu transformés.

Dans la chênaie mésophile, les caractéristiques de l'humus montrent à nouveau une évolution plus favorable que dans l'étage précédent ; cette évolution est attribuable à l'existence d'une nouvelle classe de végétation et surtout au meilleur état de conservation de la zone à étudier (par suite du plus grand éloignement du centre rural et des influences humaines liées à l'exploitation du bois en régime de taillis). Là encore, les fractions majoritaires correspondent à la matière organique libre et aux acides fulviques.

La forêt à feuilles caduques présente enfin un type d'humus à faible degré de transformation attribuable à la fois au caractère peu améliorant des litières de hêtre par rapport aux litières des autres cupulifères, aux conditions climatiques et aussi au substrat minéral peu favorable à la formation d'un humus actif. Les résultats du fractionnement montrent clairement que l'humus est peu évolué et est surtout constitué de débris organiques peu transformés (les fractions humiques extractibles associées à la fraction minérale ne représentant que 20 % de la matière organique globale).

III. — FILTRATION SUR GEL SEPHADEX

L'étude de la distribution des acides humiques dans des fractions de différentes dimensions moléculaires permet de mettre en évidence des caractéristiques importantes de ces composés (Fig. 1).

L'emploi de Sephadex G-50 montre que c'est dans la forêt à feuilles

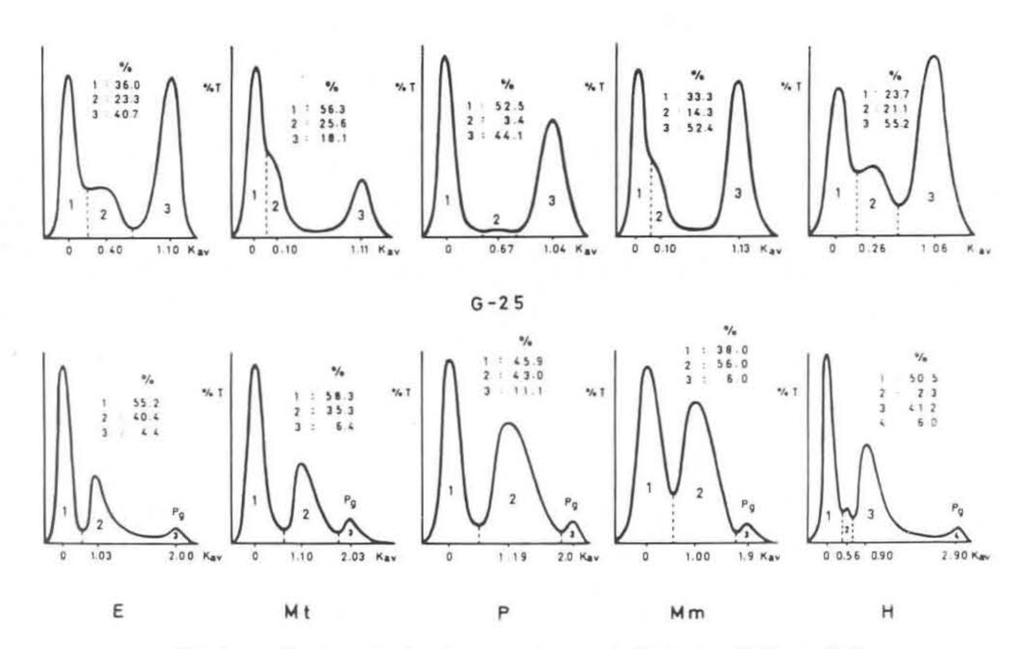


FIG. 1. — Courbes de fractionnement sur gel Sephadex G-100 et G-25 des acides humiques des sols.

caduques de *Fagus sylvatica* que l'on rencontre le moins de molécules de fortes dimensions ($K_a v = 0$, poids moléculaires supérieurs à 10^4).

Dans la chênaie mésophile, où les conditions de formation de l'humus sont un peu plus favorables, le pourcentage est un peu plus élevé et présente un maximum au niveau de la cote de 1100 m. s. m. (Mt et P) bien que l'on observe dans la forêt de conifères de reboisement une teneur plus forte en molécules de dimension plus réduite, ce qui est dû aux effets de la végétation acidifiante.

Enfin dans la forêt sclérophylle, la présence d'un pourcentage relativement faible de molécules exclues, peut correspondre aussi bien aux effets d'une minéralisation active dans ce sol, qu'à la faible influence des processus de drainage et de lixiviation verticaux qui entraînent surtout les acides humiques de petites dimensions moléculaires.

Au cours de la filtration sur gel Sephadex G-50 de plusieurs échantillons d'acide humiques, on observe l'existence d'une coloration verdâtre dans la portion finale de la dernière fraction retenue, ce qui pourrait nous faire supposer la présence d'une certaine proportion de pigments semblables à ceux qui ont été décrits par KUMADA (1965) dans les acides humiques du type P et qui ont été aussi isolés d'autres échantillons d'acides humiques espagnols (ALMENDROS *et al.*, 1982).

L'existence d'une telle fraction (acides humiques verts) est confirmée par la filtration sur gel Sephadex G-25 (rang de fractionnement : 100-5000). On a utilisé NaOH 0.1M comme effluent pour empêcher l'adsorption systématique de la dernière fraction qui ne peut être éluée qu'avec des volumes d'élution supérieurs au volume total de la colonne.

La teneur en fraction verte ainsi isolée présente la valeur la plus forte dans la pinède de reboisement (fraction Pg) et la plus faible dans la forêt

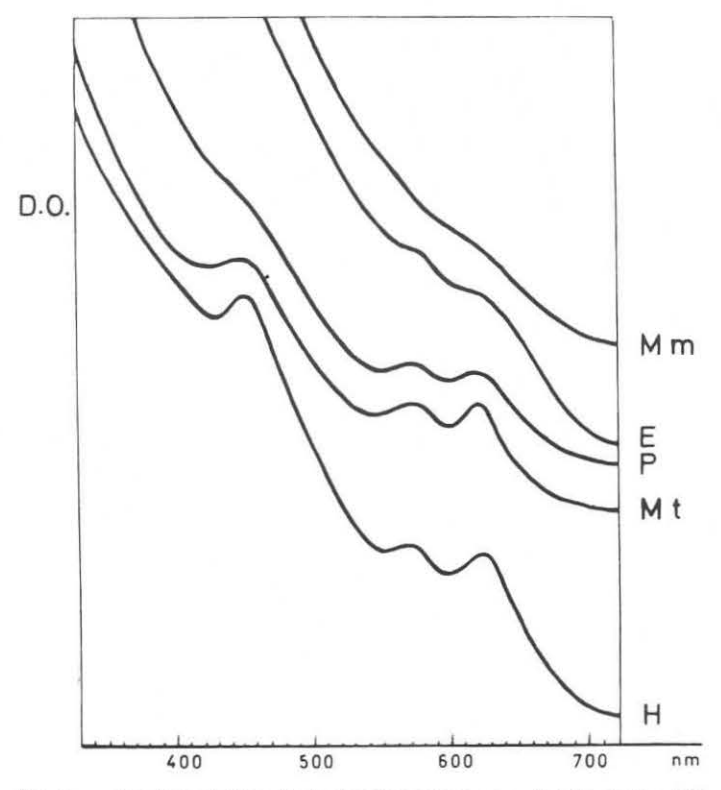


FIG. 2. — Spectres visibles de la fraction retenue sur Gel Sephadex G-25 des acides humiques.

sclérophylle, bien qu'elle soit précédée d'une autre fraction de dimension moléculaire plus élevée et de coloration légèrement verdâtre dans certains cas, constituée probablement par des composés de transition entre le pigment vert et les acides humiques *sensu strictu* décrits dans les études de KUMADA et SATO (1980).

La faible proportion de composés dihydroxyperillenquinoniques (responsables de la coloration verdâtre) dans l'ensemble des acides humiques extraits des différents sols rend difficile la reconnaissance des bandes d'absorption caractéristiques de cette classe de substances (620,570,450 nm) ; c'est pourquoi on a répété plusieurs fois les chromatographies afin de récupérer une quantité

suffisante de fractions retenues pour observer les spectres visibles qui ont confirmé la similitude de ces acides humiques avec ceux décrits par KUMADA et HURST (1967) (Fig. 2).

IV. — CONCLUSIONS

L'étude des caractéristiques de l'humus dans un transect de sols du Massif du Moncayo, nous montre, qu'avec une tendance accusée à la désaturation du complexe absorbant et au drainage de matériaux vers les zones basses, on observe dans ces sols de faibles teneurs en fractions humiques peu transformées donnant à l'humus un caractère peu évolué.

Cette tendance à la formation d'humus par voie héritée, a été aussi décrite dans d'autres transects montagneux de la Péninsule Ibérique, ainsi que dans le Versant Nord de la Chaîne de Guadarrama et surtout dans le Massif d'Ayllón (ALMENDROS *et al.*, 1982), même si dans ce cas-ci, l'incidence d'une série de zonations explique la présence de remarquables transformations dans l'humus. La pression de l'homme, avec l'exploitation du bois, le reboisement forestier et l'invasion par le buisson acidificant, influe énormément dans ce sens.

La présence de la forêt de reboisement peut être aussi mise en relation avec la diminution des dimensions moléculaires des acides humiques correspondants.

La présence de pigments verts, semblables à ceux qui ont été décrits par KUMADA dans les sols japonais, fait penser, en accord avec cet auteur, que l'apparition de cette sorte de composés (encore en faible quantité dans le cas à étudier comme dans ceux déjà nommés du Puerto de la Quesera), n'est pas une caractéristique spéciale de certains types de sols mais un constituant plus fréquent qu'on ne pouvait l'imaginer initialement. En fait, il est le reflet de la vaste distribution géographique des champignons qui semblent être les responsables de sa formation (VOL'NOVA & MIRCHINK, 1972) parmi lesquels, le *Cenococcum graniforme* (KUMADA & HURST, 1967) qui paraît être l'une des espèces les plus importantes.

Il est curieux d'observer que les bandes d'absorption correspondant aux composés verts (dans les fractions retenues sur le gel Sephadex G-25) apparaissent aussi bien sous forme de fraction Pg que sous forme de composés de coloration intermédiaire, sont les plus intenses dans les sols qui présentent les conditions les plus défavorables à la formation d'humus. Ces produits sont ici particulièrement rares dans la chênaie mésophîle et dans la chênaie verte (qui présentent la teneur la plus faible en fractions organiques peu évoluées), et leur importance vis-à-vis de la totalité des acides humiques devient de plus en plus grande en suivant l'ordre : Pinède $<$ Chênaie termophylle $<$ Hêtraie, c'est-à-dire dans les classes d'humus qui présentent la plus forte prédominance de débris végétaux peu transformés.

Ce fait pourrait faire penser à l'existence d'une association entre la plante elle-même et les champignons mycorhizogènes correspondants, producteurs du pigment, dans le cas des sols soumis à des conditions écologiques défavo-

rables. A ce sujet, nous devons rappeler que c'est dans les écosystèmes forestiers établis sur des sols oligotrophes que l'alimentation des mycorhizes acquiert la plus grande importance (HARLEY, 1972).

RÉSUMÉ

On a étudié les caractéristiques de la matière organique des sols dans un transect du Massif de Moncayo (Chaîne Ibérique : Espagne). Les sols montrent un degré relativement élevé de dégradation aboutissant à de remarquables processus érosifs. La migration d'argile et de cations échangeables ainsi que la baisse de teneur en matière organique dans les zones basses, sont des caractères typiques observés dans le transect.

L'humus montre une certaine tendance à s'enrichir par héritage lorsque l'altitude croît, bien que l'influence locale de l'homme (reboisement et exploitation des forêts) et les effets des buissons acidifiants soient importants dans certaines zones du transect étudié.

Dans la fraction humique, des composés similaires aux acides humiques verts ont été isolés, leur importance semblant être liée à l'existence de conditions écologiques défavorables ce qui pourrait être interprété en fonction de la distribution des champignons mycorhizogènes formateurs du pigment.

SUMMARY

Contribution to the study of the edaphic subsystem in the forest ecosystems in the Massif of Moncayo
II. General characteristics of humus in the transect studied

Soil humus characteristics has been studied in a catena across different ecosystems in the Massif of Moncayo (Spain).

In elected transect, soils show a relatively high degradation degree, undergoing remarkable erosives processes. The migration of clay and of exchangeable cations, as well as the decrease in soil organic matter content towards the lower zones are typical features in studied catena.

Soil humus shows a certain tendence to evolution by means of the direct way in function of altitude, but the local anthropic influence (replobation and explotation of forests) and effects of acidifiant shrub is also high in certain zones of elected transect.

Extractable compounds similar to « Green humic acids » was isolated from humic fraction, being its porportion clearly related to more desfavourable ecological conditions. This would be interpreted in function of distribution of pigment forming mycorrhizal fungi.

RESUMEN

Contribución al estudio del subsistema edáfico en los ecosistemas montanos forestales del Macizo de Moncayo
II. Características generales del humus en el transecto estudiado

Han sido estudiadas las características del humus en diversos ecosistemas a lo largo de un transecto del Macizo de Moncayo (España).

En el transecto elegido, los suelos muestran un grado relativamente alto de degradación, experimentando notables procesos erosivos.

La migración de arcilla y cationes de cambio, así como la disminución en el contenido de materia orgánica en el sentido de las cotas inferiores son tendencias típicas observadas en la catena.

El humus muestra una cierta tendencia a la evolución por medio de la via directa en función de la altitud, si bien la influencia antrópica (repoblación y explotación de los bosques) y los efectos del matorral acidificante es muy marcada en ciertas zonas del transecto estudiado.

Son aislados compuestos similares a los « Acidos Húmicos Verdes » a partir de la fracción de ácidos húmicos, estando su proporción claramente relacionada con la presencia de condiciones ecológicas más desfavorables. Esto podía ser interpretado en función de la distribución de los hongos micorrizógenos formadores del pigmento.

BIBLIOGRAPHIE

ALMENDROS (G.), POLO (A.) & DORADO (E.), 1982. — Aislamiento y caracterización de dos fracciones verdes a partir de los ácidos humicos extraidos de un podsol. *Agrochimica* (en prensa).

BOYOUCOS (G. J.), 1962. — Hydrometer method improved for making particle size analysis of soil. *Agron. J.*, **54**: 464-465.

COMISION DE METODOS ANALITICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE EDAFOLOGIA Y AGROBIOLOGIA « JOSE MARIA ALBAREDA », 1973. — Determinaciones analíticas en suelos. Normalización de Métodos. *An. Edaf. Agrobiol.*, **32**: 1151-1172.

CHOULIARAS (N.), VEDY (J. C.), JACQUIN (F.) & PORTAL (J. M.), 1975. — Fractionnement et caractérisation de la matière organique dans les rendzines. *Bull. I. N. Polytechnique de Nancy*, **17**: 65-74.

DORADO (E.), POLO (A.) & DEL RIO (J.), 1972. — Caracterización de ácidos húmicos por electroforesis y gel-filtración. *An. Edaf. Agrobiol.*, **31**: 693-718.

DUCHAUFOUR (Ph.) & SOUCHIER (B.), 1977. — Pédogenèse et classification. Ed. Masson, Paris, 477 p.

HARLEY (J. L.), 1972. — *The biology of Mycorrhiza*. Plant Science Monographs. Leonard Hill. London.

IBAÑEZ (J. J.), ALMENDROS (G.) & POLO (A.), 1982. — Contribution à l'étude du sous-système pédologique des écosystèmes forestiers montagnards du Massif de Moncayo (Chaîne Ibérique). I. Caractéristiques générales des écosystèmes compris dans le transect étudié. *Rev. Écol. Biol. Sol*, **20**: 131-142.

KONONOVA (M. M.), 1966. — *Soil Organic Matter*. Pergamon Press. London, 450 p.

KUMADA (K.), 1965. — Studies on the colour of humic acids. Part I. On the concepts of humic substances and humification. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **11**: 11-16.

KUMADA (K) & HURST (H. M.), 1967. — Green humic acids and its possible origin as a fungal metabolite. *Nature*, **214**: 631-633.

KUMADA (K) & SATO (O.), 1980. — Characteristics of the green fraction of P type humic acids. *Soil Sci. Plant Nutr.*, **26**: 309-316.

MEHLICH (A.), 1948. — Determination of cation and anion exchange properties of soils. *Soil Sci.*, **66**: 429-445.

MERLET (D.), 1971. — Mise au point technique concernant l'extraction et la caractérisation des composés organiques dans les sols. *Centre de Pédologie Biologique.* C. N. R. S. Nancy. Doc n° 15. 19 p.

MONNIER (G.), TURC (L.) & JEANSON LOU-SIANG (C.), 1962. — Une méthode de fractionnement densimétrique par centrifugation des matières organiques du sol. *Ann. Agron.*, **13**: 55-63.

VOL'NOVA (A. I) & MIRCHINK (T. G.), 1972. — Formation by dark-colored fungi of a green pigment similar to the Pg fraction of P-type humic acids. *Soviet Soil Sci.*, **11**: 690-695.